

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.384.637

Перко  
Сергей Леонидович

Многослойные интерференционные покрытия оптических элементов

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 01 твердотельная электроника, радиоэлектронные  
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах

---

Научный руководитель  
Родионов Юрий Анатольевич  
кандидат технических наук  
доцент кафедры микро- и  
наноэлектроники

---

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире наука и техника развиваются быстрыми темпами. Более глубокое познание научных принципов и физических явлений приводит к появлению новых и усовершенствованию существующих технических устройств. Что в свою очередь приводит к ужесточению требований к качеству производимых изделий. Высокий контроль качества невозможен без точных приборов.

Внедрение оптических приборов и методов исследования в различные области науки и техники приводит к необходимости создания многослойных структур на основе диэлектрических и металлических слоев не только с расширяющимися требованиями к их свойствам, но и возможному их сочетанию. Это в первую очередь оптические, физико-механические, химические и другие свойства. Из оптических свойств, следует упомянуть непрерывно расширяющийся спектральный диапазон работы приборов, ужесточение требований к лучевой стойкости и прочности покрытий, сочетание возможности отражения (пропускания) и формирования волнового фронта отражённого (прошедшего) излучения. Кроме того, набор стабильных, химически устойчивых, стойких к воздействию внешней атмосферы плёнообразующих материалов невелик.

Проблема нанесения тонкопленочных покрытий включает в себя научно-технические аспекты, относящиеся к физике, химии, механике и является едва ли не самой обширной среди современных актуальных направлений технологии. Реализация этих требований напрямую зависит от достижений в конструировании оборудования и совершенствования технологических процессов получения тонких пленок. В настоящее время наиболее перспективными методами нанесения покрытий являются вакуумные ионно-плазменные. Это обусловлено их экологической безопасностью, высокой чистотой технологических процессов и качеством продукции. Также известно, что в ионизованном или возбужденном состоянии атомы и молекулы легче взаимодействуют друг с другом, делая процесс синтеза сложных соединений более эффективным.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение существующих технологических приемов и методов получения тонкопленочных покрытий для создания функциональных оптических элементов с заданными спектральными характеристиками в видимом и инфракрасном диапазоне спектра.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы магистерской диссертации.** Актуальность работы определяется необходимостью упрощения технологического процесса изготовления многослойных тонкопленочных оптических покрытий с заданными спектральными характеристиками для элементов оптики.

**Цель и задачи исследования.** Изучение технологических процессов получения интерференционных покрытий методом ионно-лучевого распыления материалов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ современных материалов для создания оптических структур, а также технологических приемов и методов получения оптических покрытий.
2. Постановка и изучение приемов и методик получения оптических покрытий на подложках разного типа.
3. Экспериментальное исследование процессов нанесения оптических покрытий и изучение их спектральных характеристик.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является процесс получения оптических покрытий и изучение их спектральных характеристик. Предметом исследования являются экспериментальные зависимости характеристик оптических покрытий от технологических приемов и параметров технологических процессов.

**Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики.** Работа выполнялась совместно на кафедре микро- и наноэлектроники БГУИР и ООО «Изовак-Технологии» с целью разработки технологии формирования функциональных оптических покрытий для спектрального компаратора в рамках договора № 14-1218 на выполнение НИР по теме «Разработка технологии формирования диэлектрических покрытий на основе кремния с применением плазмы высокой плотности» и соответствует подразделу 2.3 «Физико-химические явления и процессы на межфазных поверхностях, коллоидно-химические основы получения, превращения и применения дисперсных систем, поверхностно-активных веществ, физико-химическая механика материалов» перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы, утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19 апреля 2010 г. № 585.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Структуры светоделительных фильтров с заданными характеристиками в спектральном диапазоне от 380 до 1000 нм.
2. Режимы формирования слоев диоксида кремния и оксида ниобия для создания оптических покрытий.
3. Технологическая последовательность операций формирования оптических покрытий для создания светоделительных фильтров.

**Личный вклад соискателя.** Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитическое исследование физического принципа, материалов и современных методов получения оптических покрытий проводилось соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы зависимости скорости осаждения оптических покрытий от параметров технологического процесса. Разработка технологии получения многослойных тонкопленочных покрытий методом ионно-лучевого осаждения проводилась совместно с научным руководителем кандидатом технических наук Родионовым Ю.А.

**Апробация результатов диссертации.** Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных исследований и разработок были доложены на 50-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, 2014.

**Публикации.** Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 1 опубликованной работе, представленной в материалах научной конференции.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 40 наименований. Общий объем диссертации составляет 87 страниц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы получения многослойных тонкопленочных покрытий, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **первой главе** приводится аналитическое исследование физического принципа, материалов и современных методов получения оптических покрытий. В ходе дальнейших исследований установлено, что наиболее перспективными методом получения многослойных покрытий является метод ионно-плазменного осаждения, также разработана технология получения покрытий этим методом.

Во **второй главе** рассмотрены основы физических процессов функционирования и конструктивные особенности различных устройств для получения оптических покрытий.

Для получения тонкопленочных оптических покрытий ионно-плазменным методом использовалась ионно-лучевая распылительная система с диаметром мишеней 105 мм из кремния и ниобия. Экспериментальный комплекс был разработан на основе установки “Аспира-150”. Шлюзовая камеры оснащена дополнительной системой нагрева. Предварительное давление в камере осаждения составляло  $3 \cdot 10^{-3}$  Па. Распыление проводилось в вакуумной камере в среде аргона и кислорода при давлениях в диапазоне 0,1 – 0,2 Па. Напряжение смещения на ионно-лучевой распылительной системе варьировалось от 3 до 3,7 кВ.

Для исследования спектральных характеристик образцов в спектральном диапазоне длин волн от 380 до 1090 нм использовался измерительный комплекс на основе системы оптического контроля “InvisioM”.

В **третьей главе** приведены результаты экспериментов по формированию многослойных интерференционных покрытий.

Установлено, что оптимальным количеством рабочих газов аргона и кислорода подаваемых на систему ионно-лучевого распыления материалов  $Nb_2O_5$  и  $SiO_2$  является 14 и 60 см<sup>3</sup> соответственно. Напряжение смещения на ионно-лучевой распылительной системе 3,0 кВ.

Для упрощения технологического процесса осаждения многослойных оптических покрытий в качестве подложки необходимо использовать цветное стекло, что позволило сократить общую толщину чередующих слоев с различным показателем преломления от 5,8 мкм до 2,9 мкм для ик-пропускающих и 5,5 мкм до 2,5 мкм для ик-отрезающих оптических фильтров.

Оптимальные спектральные характеристики были рассчитаны при помощи программы OptiLayer.

В **четвёртой главе** приводятся особенности применения и практические рекомендации по получению многослойных интерференционных покрытий по заданным спектральным характеристикам.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты экспериментов по получению многослойных интерференционных покрытий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над диссертационной работой были получены образцы оптических покрытий методом распыления. Проведены исследования спектральных характеристик образцов с различными материалами подложки.

Из анализа литературных источников установлено, что для слоев оптических покрытий предпочтительно использовать материалы  $Nb_2O_5$  и  $SiO_2$ . Данные материалы были получены путем распыления чистых материалов  $Nb$  и  $Si$  и добавления в вакуумную камеру реакционного газа  $O_2$ .

Из анализа литературных источников и экспериментальных результатов было установлено, что для покрытий с более качественной морфологией структуры, необходимо использовать метод ионно-лучевого распыления. Пленки, полученные данным методом, не подвержены влиянию влаги.

Для оптимизации времени технологического процесса затрачиваемого на изготовление изделия по заданным технологическим характеристикам более чем в 2 раза необходимо в качестве подложки использовать цветное стекло SCHOTT RG 695 для ИК-пропускающих и SCHOTT KG 5 для ИК-отрезающих светофильтров.

В результате экспериментальных исследований образец с среднеинтегральным коэффициентом пропускания 0,1 % и 95,5 % в спектральных диапазонах 400-740 нм и 780-1000 нм соответственно был получен на подложке из цветного стекла SCHOTT RG 695 с временем технологического процесса 6 часов и образец с среднеинтегральным коэффициентом пропускания 75,9 % и 0,01 % в спектральных диапазонах 380-700 нм и 780-1000 нм соответственно был получен на подложке из стекла SCHOTT KG 5 с временем технологического процесса 6 часов методом ионно-лучевого распыления. При использовании более дешевого бесцветного стекла AsahiFloatGlass в качестве подложки был получен образец с пропусканием 0,2 % и 96,5 % с временем технологического процесса 13 часов.

Также была проведена наработка на повторяемость партии изделий. Для ИК-отрезающих светофильтров было получено 10 из 10 годных изделий, а для ИК-пропускающих светофильтров было получено 9 из 10 годных изделий.

В ходе проведения экспериментов исследовались и оптимизировались технологические параметры работы напылительных устройств.

При данной конфигурации технологических устройств и выбранных материалов покрытия с заданными спектральными характеристиками были получены образцы методом электронно-лучевого распыления на установке «Аспира-150».

Представлен графический материал по теме дипломного проекта.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. С. Л. Перко, Свойства оптических просветляющих покрытий, полученных методами испарения и распыления / 50-я научная конференция студентов, аспирантов, магистрантов, Минск: БГУИР, 2014.

Библиотека БГУИР